

УДК 658.78:624.014.2

Є. А. МІСЮРА^{1*}

^{1*}Фак. «Будівництво, архітектура та інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 933 52 82, ел. пошта udgine200933@gmail.com, ORCID 0009-0003-1909-4588

Визначення ефективності сталевих конструкцій покриття складської будівлі

Мета. Основною метою цієї статті є зіставлення за основними техніко-економічними показниками двох запропонованих конструктивних варіантів сталевих покриттів для складської будівлі класу В+ у місті Дніпро. Актуальність роботи пов'язана з постійним збільшенням обсягів і темпів вантажних транспортних перевезень як в усьому світі, так і в Україні, особливо останнім часом. Це потребує створення нових та розширення наявних складських площ різних видів. У свою чергу, це призводить до необхідності створення таких несних конструкцій для складських площ, які б були здатні перекривати значні прогони і при цьому забезпечували б мінімальні витрати на їх будівництво та експлуатацію. **Методика.** Для досягнення цієї мети проаналізовано сучасні класифікації складських будівель за вітчизняними стандартами та міжнародними підходами, визначено клас розглядуваної будівлі за цими двома методиками та розроблено два конструктивні варіанти сталевих покриттів – на основі несного ригеля у вигляді кроквяної ферми і на основі балково-рамної схеми. За допомогою вітчизняного проектного комплексу Ліра-САПР побудовано скінченноелементні моделі для обох запропонованих конструктивних варіантів. На основі аналізу їх напружено-деформованого стану підібрано раціональні перерізи для кожного конструктивного варіанта, а також розраховано загальну масу та вартість. **Результати.** Проведений порівняльний аналіз двох розроблених конструктивних рішень для сталевих покриттів складської будівлі дозволив з'ясувати, що варіант із застосуванням балково-рамної системи має приблизно на 10 % меншу масу та вартість. Також технологічність його виготовлення є більш високою ніж варіанта із застосуванням кроквяної ферми. **Наукова новизна.** У результаті проведення чисельного аналізу теоретично обґрунтовано більш раціональне та ефективне конструктивне рішення для сталевих покриттів складської будівлі в місті Дніпро. **Практична значимість.** Розроблено та запропоновано для практичної реалізації конструктивний варіант сталевих покриттів, який за своїми техніко-економічними показниками є найефективнішим для умов сучасного промислового підприємства. Також розроблений конструктивний варіант складської будівлі класифіковано відповідно до вітчизняних і міжнародних сучасних підходів.

Ключові слова: складська будівля; сталеве покриття; кроквяна ферма; балково-рамна система; метод скінченних елементів; проектний комплекс Ліра-САПР

Вступ

Сьогодні залізничні перевезення є одним із найефективніших видів транспортних перевезень як в Україні [1, 13, 14], так і у світі [10, 18]. При цьому в міру розширення співпраці між окремими країнами обсяги й потужність таких перевезень тільки набирає обертів.

В Україні залізничний транспорт узагалі вважають провідною галуззю в системі перевезень, адже, за даними деяких фахівців, його обсяги охоплюють до 80 % вантажних і до 40 % пасажирських перевезень відносно загальних обсягів перевезень усіма видами транспорту. Загальна довжина залізничної мережі України сягає 22 тис. км, і приблизно 50 % цієї мережі працює на електричному струмі. Обсяг пере-

вень на рік у 4–5 разів вищий ніж для багатьох розвинених країн європейського регіону.

До того ж важливим чинником є той факт, що по території України пролягають найбільш потужні транс'європейські шляхи: Захід (Європа) – Схід (Азія), Північ (Балтика) – Південь (Чорне море). Також залізниці України тісно пов'язані із залізницями прикордонних країн – Польщі, Румунії, Молдови, Словаччини, Угорщини. Це дозволяє фактично забезпечувати транспортно-складськими операціями основні порти Чорноморсько-Азовського басейну.

Також слід відзначити, що по залізничній мережі України проходять три основні транспортні коридори № 3, 5, 9, а через порт у місті Ізмаїл відбувається товарообіг із транспортним

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

коридором № 7. Крім цього, активно набирають обертів транспортні сполучення по коридору ТРАСЕКА (Європа – Кавказ – Азія). Така потужна й розвинена система потребує потужного та розвиненого складського господарства, здатного задовольнити обсяги й терміни товарообігу.

Наявність проміжної складської ланки у сфері вантажних перевезень пов'язана з необхідністю компенсації коливань обсягу товарів, їх постачання і споживання. Як зазначено в роботі [11], складське господарство має доволі складну та розгалужену структуру, яка потребує складного апарату управління, побудованого на сучасних теоретичних засадах логістики [5].

Чітка класифікація складських будівель у вітчизняній практиці відсутня. Частіше за все

види складів розрізняють залежно від їх функціонального призначення (основна класифікація), форми власності, спеціалізації асортименту товарів, режиму зберігання, виду транспортних сполучень, ступеня механізації складських операцій та місця розташування. Наприклад, складські підприємства за їх функціональним призначенням поділяють на постачальницькі склади, виробничі склади, склади збуту і склади обслуговування.

У міжнародній практиці домінують класифікація складських будівель за низкою узагальнених критеріїв. При цьому виділяють шість класів: A+, A, B+, B, C, D. Приклади реальних будівель таких складів подано на рис. 1, а їх загальний опис та особливості – у табл. 1.

a – a*в – с**д – е**б – б**г – д**е – ф*

Рис. 1. Основні типи складських будівель за міжнародною класифікацією:
a – клас A+; *б* – клас A; *в* – клас B+; *г* – клас B; *д* – клас C; *е* – клас D

Fig. 1. The main types of storage buildings according to the international classification:
a – class A+; *b* – class A; *c* – class B+; *d* – class B; *e* – class C; *f* – class D

Опис складських будівель за міжнародною класифікацією

Description of storage buildings according to the international classification

A+	A
<p>Вища категорія на зразок своєрідних «президентських апартаментів» серед будівель цього типу. Це одноповерхові будівлі з повністю вільним внутрішнім простором, як правило, прямокутної в плані форми. Висота поверху не менше 13 м для складування в 6–7 ярусів, відстань між рядами колон не менше 24 м. Несні конструкції – високоякісні сучасні сталеві легкі. Ворота докового типу на 500 м² із зовнішніми вантажними майданчиками з регульованою висотою підйому. Розташування поруч із транспортною магістраллю, довжина під'їзду не більше 4 км. Обов'язкова наявність окремої залізничної вітки зі спеціальною залізничною рампою.</p>	<p>Це одноповерхові будівлі, які мають повністю вільний внутрішній простір. Побудовані після 1994 року. Висота поверху не менше 10 м для складування в 5 ярусів, відстань між рядами колон не менше 24 м. Несні конструкції – сталеві звичайні. Ворота докового типу на 700 м² із зовнішніми вантажними майданчиками. Розташування поруч із транспортною магістраллю, наявність під'їзду для вантажного автотранспорту. Бажана наявність окремої залізничної вітки.</p>
B+	B
<p>Будівля спеціально споруджена або переобладнана з будівлі промислового призначення, одноповерхова, із висотою поверху не менше 8 м, відстань між рядами колон не менше 12 м. Ворота докового типу на 1 000 м². Передбачений пандус для машин вантажного типу. Розташування поблизу з транспортною магістраллю, під'їзд повинен мати хороший стан покриття. Наближеність до залізничної вантажної станції.</p>	<p>Будівля спеціально споруджена або реконструйована, багатоповерхова, із висотою поверху від 4 до 8 м. Наявність вантажних міжповерхових ліфтів не менше 3 т на 2 000 м². Покриття підлоги може бути асфальтове. Передбачений пандус для машин вантажного типу. Розташування поблизу з транспортною магістраллю, під'їзд повинен мати хороший стан покриття. Наближеність до залізничної вантажної станції.</p>
C	D
<p>Це утеплений ангар або капітальна промислова будівля з висотою поверху не менше 4 м. Загальна поверховість будівлі не обмежена, проте обов'язкова наявність вантажних ліфтів. Покриття підлог відсутнє. Ворота обов'язково розташовані на нульовому рівні, передбачена можливість прямого заїзду вантажного транспорту всередину будівлі. Будівля обладнана системою водопостачання та каналізації. Розташування на відстані до 30 км до транспортної магістралі.</p>	<p>Це найбільш невибагливі будівлі з точки зору вимог до обладнання. Для цієї категорії можливе використання підвальних приміщень, ангарів, промислових і виробничих приміщень, а також будь-яких нежитлових приміщень. Вимоги до внутрішнього устаткування мінімальні: наявність освітлення і кондиціювання. Будівля повинна мати під'їзд для вантажного автотранспорту. Розташування будівлі не обмежено.</p>

Зауважимо, що відповідно до національного класифікатора України [9], який був чинним ще до недавнього часу, складські будівлі становили одну групу з промисловими будівлями – 125, а самі складські будівлі мали за цим класифікатором підкласи – 1252.8 і 1252.9. При цьому такі будівлі не пов'язані з об'єктами транспорту взагалі і транспортними будівлями та спорудами зокрема [2], що викликає певні питання. Відповідно до нового класифікатора

[12], який нещодавно набув чинності, складські будівлі як окремий різновид будівель узагалі відсутні, натомість до класу 1252 разом із холодильниками введені і спеціальні склади.

Проте будівлі складів – це повноцінний самостійний різновид будівель, який має свої закономірності розрахунку та проектування. Особливо важливою при цьому є конструкція покрівлі [4, 16, 19], адже саме вона має забезпечити як перекриття необхідного прогону

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

(створення належного вільного простору в будівлі), так і прийнятну вагу (можливість створення несного каркасу будівлі в подальшому).

Мета

Зважаючи на вищевикладене, основною метою дослідження є визначення ефективного конструктивного рішення покриття для складської будівлі.

Методика

За об'єкт дослідження взято окрему складську будівлю, розташовану в місті Дніпро. Будівля призначена для зберігання невеликого штучного вантажу непродовольчого типу, тому не потребує холодильних камер. Для здійснення операцій складування в будівлі можливе розміщення навантажувача. За міжнародною класифікацією розглядувана складська будівля належить до типу В+.

З об'ємно-планувальної точки зору будівля має проліт 18 м та загальну довжину 42 м. Будівля одноповерхова з висотою поверху 8 м. Огороджувальні конструкції покриття являють собою сендвіч-панелі по сталевих ригелях.

У ході дослідження було зіставлено 2 конструктивні варіанти:

- варіант № 1 – покриття виконано у вигляді сталеві ферми (рис. 2, а);
- варіант № 2 – покриття виконано у вигляді прокатної балково-рамної системи (рис. 2, б).

Для проведення досліджень використано чисельний метод будівельної механіки – метод скінченних елементів, який набув поширення в аналізі складних інженерних систем [15, 17, 20]. Для аналізу використано вітчизняний програмний комплекс Ліра-САПР [3].

Як навантаження взято власну вагу елементів конструкції, снігове й вітрове навантаження відповідно до чинного стандарту [6]. Підбір поперечних перерізів виконано на основі чинних стандартів [7, 8].

Результати

Побудовані скінченноелементні моделі в програмному комплексі Ліра-САПР для обох розглядуваних конструктивних варіантів складської будівлі наведено на рис. 3. Моделі являють собою стрижневі системи.

Для коректного відображення роботи каркасів в обох конструктивних випадках змодельовано не тільки окрему поперечну несну раму, а й повністю весь сталевий каркас разом з елементами в'язей.

На рис. 4 представлено отримані зображення деформацій від заданого навантаження, а на рис. 2 – підібрані поперечні перерізи основних конструктивних елементів поперечної несної рами.

У цілому напружено-деформований стан для обох розглянутих конструктивних варіантів поперечного перерізу складської будівлі є доволі рівномірний. Значення отриманих максимальних вертикальних деформацій для конструктивного варіанта № 1 становить 46,3 мм, а для конструктивного варіанта № 2 – 57,2 мм.

Отримана загальна маса поперечної несної рами для розглядуваних варіантів становить:

- варіант № 1 – 57,29 т;
- варіант № 2 – 52,47 т.

Тому перевагу має варіант № 2.

Із технологічної точки зору варіант № 2 також є більш раціональним, оскільки містить спрощене конструктивне рішення несного ригеля покриття у вигляді балки. Багатодільність кроквяної ферми для варіанта № 1 підвищує її вартість та ускладнює процес виготовлення.

Оцінимо динаміку зміни вартості обох конструктивних варіантів упродовж 2018–2024 рр., адже саму роботу виконано ще у 2018 році. Оскільки в обох конструктивних варіантах використано зовсім різні сталеві профілі як за видами, так і за типорозмірами, то візьмемо середню вартість. Узагальнені вартісні показники наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Вартість конструктивних варіантів

Table 2

Cost of structure variants

Рік	Ціна грн/1 т	Вартість (тис. грн) конструктивного варіанта	
		№ 1	№ 2
2018	23 000	1 318	1 207
2022	47 000	2 693	2 466
2023	54 000	3 094	2 833
2024	60 000	3 437	3 148

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

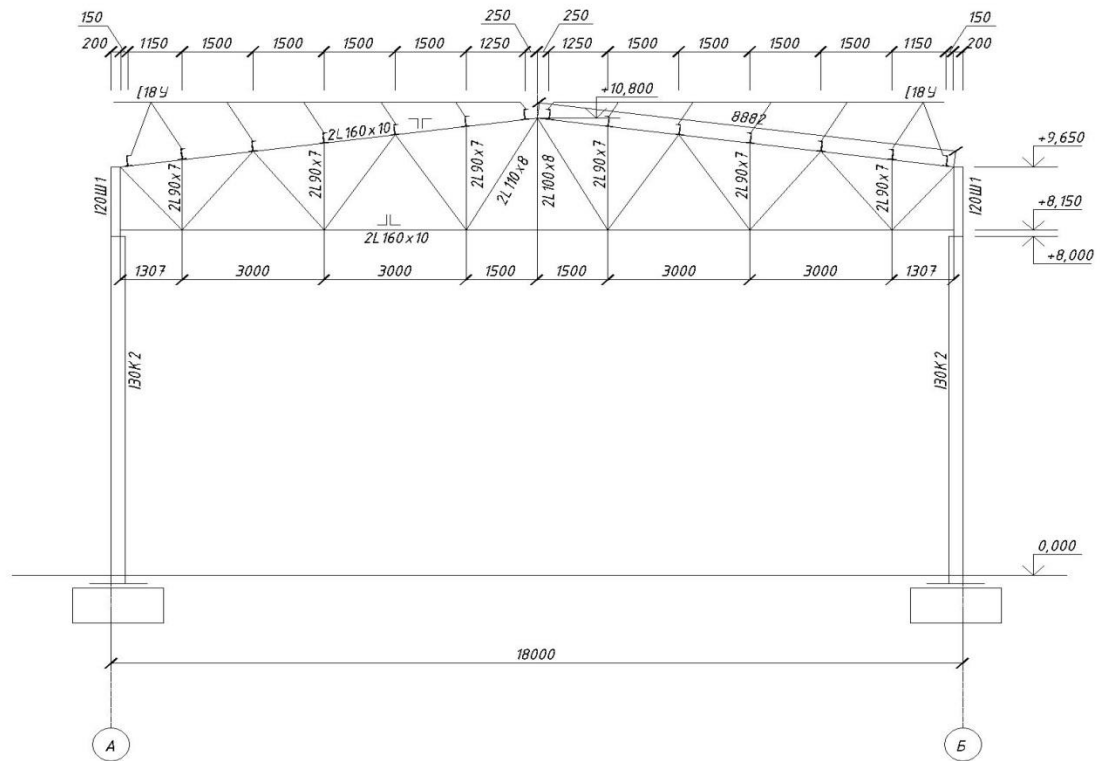
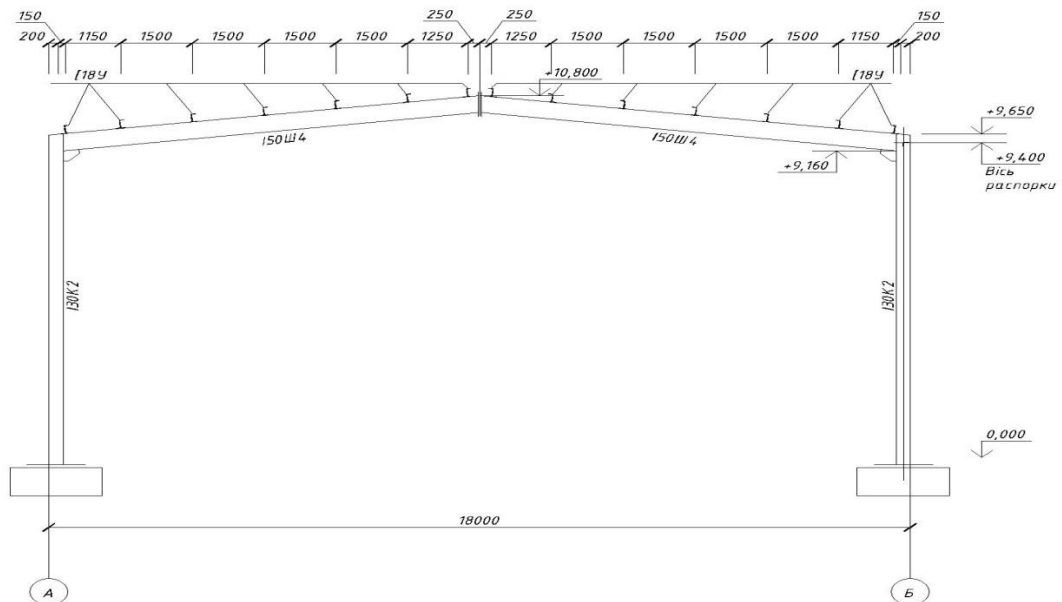
a – a*б – б*

Рис. 2. Конструктивне рішення складської будівлі:
a – варіант № 1; *б* – варіант № 2

Fig. 2. Structural solution of storage building:
a – variant No. 1; *b* – variant No. 2

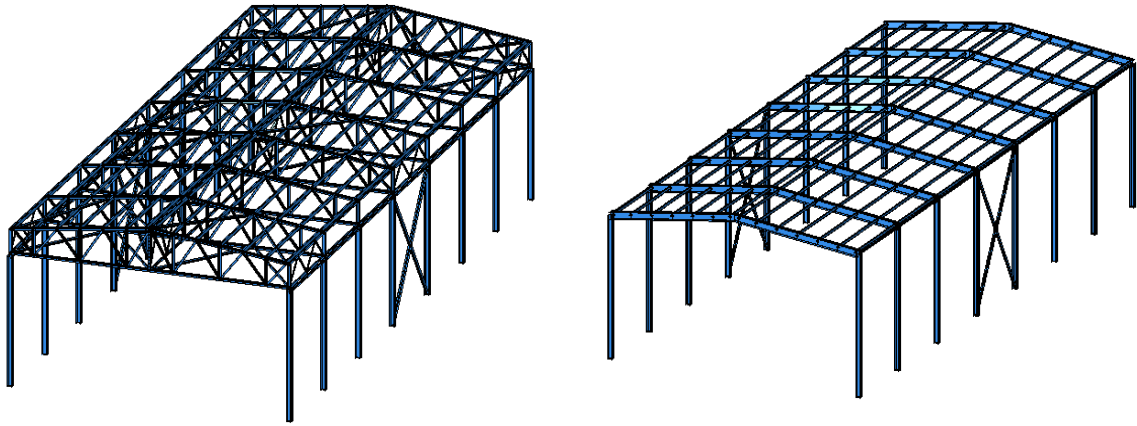
*a – a**б – б*

Рис. 3. Розрахункова модель складської будівлі:
a – варіант № 1; *б* – варіант № 2

Fig. 3. Calculation model of storage building:
a – variant No. 1; *b* – variant No. 2

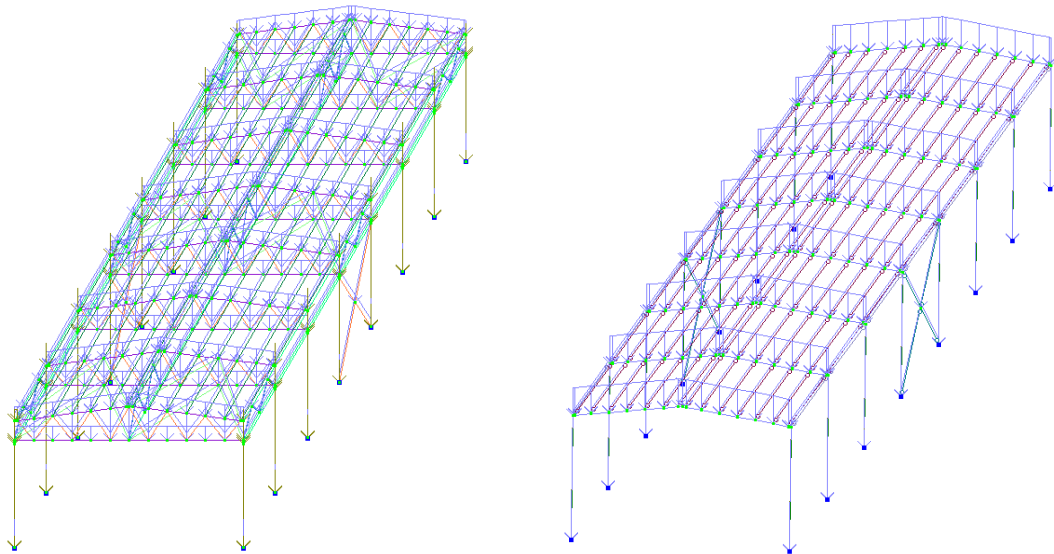
*a – a**б – б*

Рис. 4. Деформовані схеми складської будівлі:
a – варіант № 1; *б* – варіант № 2

Fig. 4. Deformed schemes of storage building:
a – variant No. 1; *b* – variant No. 2

Наукова новизна та практична значимість

У цій публікації вперше визначено тип вітчизняної складської будівлі, розташованої в місті Дніпро, за міжнародною класифікацією

складських будівель. Також визначено клас цієї будівлі за вітчизняними Національними класифікаторами 2000 і 2023 років. Проведено теоретичне зіставлення двох розроблених конструктивних варіантів для покриття розглядуваної складської будівлі. При цьому з наукової точки

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

зору обґрунтовано конструктивні та масові показники кожного з варіантів за допомогою сучасного чисельного методу скінченних елементів.

У практичному аспекті остаточно обраний конструктивний варіант доопрацьовано під конкретні місцеві умови виробничого підприємства. Отримані результати можуть бути впроваджені в практику проектування.

Висновки

Проведений порівняльний аналіз двох розроблених конструктивних рішень для сталевих покриттів складської будівлі в місті Дніпро дозволив з'ясувати:

1. Конструктивний варіант із використанням як несного ригеля сталеві балково-рамної системи має приблизно на 10 % нижчу масу та вартість порівняно з конструктивним варіантом із використанням як несного ригеля сталеві ферми.

2. Вартість такого конструктивного варіанта за цінами 2018 року становить приблизно 1,5 млн грн за одну поперечну раму. За цінами 2024 року ця вартість становить близько 3,5 млн грн.

3. Остаточно обраний конструктивний варіант може бути рекомендований до практичної реалізації в умовах сучасного промислового підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Актуальні напрями розвитку технічного та виробничого потенціалу національної економіки* : монографія / за ред. В. О. Пінчук, Г. С. Прокудіна. Дніпро : Пороги, 2021. 536 с.
2. Банніков Д. О., Нікіфорова Н. А., Косячевська С. М. Сучасний стан класифікації транспортних будівельних конструкцій в Україні. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2022. № 21. С. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2022/258221>
3. Барабаш М. С., Сорока М. М., Сур'янінов М. Г. *Нелінійна будівельна механіка з ПК Ліра-САПР* : монографія. Київ : Екологія, 2018. 248 с.
4. Безсалий В. М., Банніков Д. О. Ефективність сталевих тонкостінних оцинкованих профілів для аркових елементів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2019. № 16. С. 20–29. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2019/189428>
5. Вавулін О. І. Управління складським господарством будівельного підприємства на засадах логістики. *Економіка і суспільство*. 2017. Вип. 10. С. 194–200.
6. *ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі змінами № 1 та № 2* [Чинний від 2007-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2006. 70 с.
7. *ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі зміною № 1* [Чинний від 2022-09-01]. Київ : Мінрегіонбуд, 2018. 36 с.
8. *ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі зміною № 1* [Чинний від 2015-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 220 с.
9. *ДК 018-2000. Державний класифікатор будівель та споруд*. Київ : Держстандарт України, 2000. 83 с.
10. Мельник З., Буковський А., Гринишин М., Пінчук В., Яремчук П. *Залізничні вантажні перевезення* : монографія. BRDO, 2020. 134 с.
11. Момоток М. М. Організація складського господарства на сучасному етапі. *Управління розвитком*. 2014. № 8. С. 117–119.
12. *НК 018:2023. Національний класифікатор України. Класифікатор будівель і споруд* [Чинний від 2024-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2023. 17 с.
13. Новак В., Кириленко О., Розумова К., Ігнатюк В. Організація міжнародних перевезень вантажів основними видами транспорту (огляд). *Наукоємні технології*. 2022. Вип. 1 (53). С. 70–76. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.53.16510>
14. *Проблеми організації, управління та підвищення ефективності транспортних перевезень* : монографія / за ред. Л. М. Савчук, Г. С. Прокудіна. Дніпро : Пороги, 2021. 300 с.
15. Ahmed S., Abdelhamid H., Ismail B., Ahmed F. Differential Quadrature Finite Element and the Differential Quadrature Hierarchical Finite Element Methods for the Dynamics Analysis of on Board Shaft. *European*

- Journal of Computational Mechanics*. 2021. Vol. 29. Iss 4-6. P. 303–344.
DOI: <https://doi.org/10.13052/ejcm1779-7179.29461>
16. Bannikov D., Radkevich A., Nikiforova N. Features of the Design of Steel Frame Structures in India for Seismic Areas. *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 968. P. 348–354.
DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.348>
 17. Bofang Z. *The finite element method: fundamentals and applications in civil, hydraulic, mechanical and aeronautical engineering*. Singapore : John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119107323>
 18. Čižiūnienė K., Matijošius J., Liebuviene J., Sokolovskij E. Comparison of the relative importance of factors affecting the conveyance of bulk and liquid cargo. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14. Iss 3. P. 1–24.
DOI: <https://doi.org/10.3390/app14031151>
 19. Kruhlikova N. G., Bannikov D. O. Rational design of shot-span industrial building roof for reconstruction conditions. *Science and Transport Progress*. 2019. No. 2 (80). P. 144–152.
DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2019/165853>
 20. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Fox D. D. *The finite element method for solid and structural mechanics*. Elsevier LTD, 2014. 672 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/c2009-0-26332-x>

Ye. A. MISIURA^{1*}

^{1*}Fac. «Construction, Architecture and Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 933 55 82, e-mail udgine200933@gmail.com, ORCID 0009-0003-1909-4588

Determination of the Efficiency of Steel Structures of a Warehouse Building Roof

Purpose. The main purpose of this article is to compare the main technical and economic indicators of two proposed structural variants of steel coverings for a class B+ warehouse building in the city of Dnipro. The relevance of the work is related to the constant increase in the volume and pace of freight transportation both globally and in Ukraine, especially in recent years. This requires the creation of new and expansion of existing warehouses of various types. In turn, this leads to the need to create such load-bearing structures for storage areas that would be able to cover significant spans and at the same time ensure minimal costs for their construction and operation.

Methodology. To achieve this goal, we analyzed modern classifications of warehouse buildings according to national standards and international approaches, determined the class of the building in question according to these two methods, and developed two structural options for steel roofing - based on a load-bearing beam in the form of a truss truss and based on a beam-frame scheme. Finite element models for both proposed structural options were built using the domestic design complex Lira-CAD. Based on the analysis of their stress-strain state, rational cross-sections were selected for each design option, and the total weight and cost were calculated. **Findings.** A comparative analysis of the two developed structural solutions for the steel roof of a warehouse building revealed that the variant with the use of a beam-frame system has about 10% less weight and cost. Also, its manufacturability is higher than that of the truss system. **Originality.** As a result of the numerical analysis, a more rational and efficient design solution for the steel roof of a warehouse building in the city of Dnipro was theoretically substantiated.

Practical value. A constructive variant of the steel coating has been developed and proposed for practical implementation, which, in terms of its technical and economic indicators, is the most effective for the conditions of a modern industrial enterprise. Also, the developed constructive variant of the warehouse building is classified in accordance with domestic and international modern approaches.

Keywords: warehouse building; steel coating; truss truss; beam-frame system; finite element method; Lira-CAD design complex

REFERENCES

1. Pinchuk, V. O., & Prokudina, G. S. (Eds.). (2021). *Aktualni napriamy rozvytku tekhnichnoho ta vyrobnychoho potentsialu natsionalnoi ekonomiky: monohrafiia*. Dnipro: Porogi. (in Ukrainian)
2. Bannikov, D. O., Nikiforova, N. A., & Kosiachevska, S. M. (2022). Modern state of classification of transport building structures in Ukraine. *Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 21, 35-43.
DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2022/258221> (in Ukrainian)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

3. Barabash, M. S., Soroka, M. M., & Surianinov, M. G. (2018). *Neliniina budivselna mekhanika z PK Lira-SAPR*. Kyiv: Ecology. (in Ukrainian)
4. Bezsalji, V. M., & Bannikov, D. O. (2019). Efficiency of thin-walled galvanized profiles for arch elements. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 16, 20-29.
DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2019/189428> (in Ukrainian)
5. Vavulin, O. I. (2017). Management warehouse management of a building enterprise on the basis of logistics. *Economy and society*, 10, 194-200. (in Ukrainian)
6. *Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivselnykh ob`ektiv. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia. Zi zminamy № 1 ta № 2, 70 DBN V.1.2-2:2006. (2006).* (in Ukrainian)
7. *Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivselnykh obektiv. Zahalni pryntsyipy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivsel i sporud. Zi zminoiu № 1, 36 DBN V.1.2-14:2018. (2018).* (in Ukrainian)
8. *Stalevi konstruktsiji. Normi proektuvannia. Zi zminoiu № 1, 220 DBN V.2.6-198:2014. (2014).* (in Ukrainian)
9. *Dergavnij klassifikator budivsel ta sporud, 83 DK 018-2000. (2000).* (in Ukrainian)
10. Melnyk, Z., Bukovskiy, A., Hrynyshyn, M., Pinchuk, V., & Yaremchuk, P. (2020). *Zaliznychni vantazhni perevezennia*. BRDO. (in Ukrainian)
11. Momotok, M. M. (2014). Organization of storage facilities at the modern stage. *Development management*, 8, 117-119. (in Ukrainian)
12. *Natsionalnij klassifikator Ukraini. Klassifikator budivsel i sporud, 17 NK -18:2023. (2023).* (in Ukrainian)
13. Novak, V., Kirilenko, O., Rozumova, K., & Ignatjuk, V. (2022). Organization of international cargo transportation by main types of transport (overview). *Science-Based Technologies*, 53(1), 70-76.
<https://doi.org/10.18372/2310-5461.53.16510> (in Ukrainian)
14. Savchuk, L. M., & Prokudina, G. S. (Eds.). (2021). *Problemy orhanizatsii, upravlinnia ta pidvyschennia efektyvnosti transportnykh perevez*. Dnipro : Porogi. (in Ukrainian)
15. Ahmed, S., Abdelhamid, H., Ismail, B., & Ahmed, F. (2021). An Differential Quadrature Finite Element and the Differential Quadrature Hierarchical Finite Element Methods for the Dynamics Analysis of on Board Shaft. *European Journal of Computational Mechanics*, 29(4-6), 303-354.
DOI: <https://doi.org/10.13052/ejcm1779-7179.29461> (in English)
16. Bannikov, D., Radkevich, A., & Nikiforova, N. (2019). Features of the Design of Steel Frame Structures in India for Seismic Areas. *Materials Science Forum*, 968, 348-354.
DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.348> (in English)
17. Bofang, Z. (2018). *The finite element method: fundamentals and applications in civil, hydraulic, mechanical and aeronautical engineering*. Singapore: John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd.
DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119107323> (in English)
18. Čižiūnienė, K., Matijošius, J., Liebuviene, J., & Sokolovskij, E. (2024). Comparison of the Relative Importance of Factors Affecting the Conveyance of Bulk and Liquid Cargo. *Applied Sciences*, 14(3), 1-24.
DOI: <https://doi.org/10.3390/app14031151> (in English)
19. Kruhlikova, N. G., & Bannikov, D. O. (2019). Rational design of short-span industrial building roof for reconstruction conditions. *Science and Transport Progress*, 2(80), 144-152.
DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2019/165853> (in English)
20. Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., & Fox D. D. (2014). *The finite element method for solid and structural mechanics*. Elsevier LTD. DOI: <https://doi.org/10.1016/c2009-0-26332-x> (in English)

Надійшла до редколегії: 07.02.2024

Прийнята до друку: 07.06.2024